

(In : Proceedings 2^e nationale zonne-energie conferentie april 1989,
Noordwijkerhout).

DE WINNING VAN ENERGIE OP DE AKKER

M.J. Kropff en R. Rabbinge

SAMENVATTING

De teelt van landbouwgewassen voor energieproductie wordt regelmatig genoemd als duurzaam alternatief voor fossiele brandstoffen. Tevens zou dit een mogelijke oplossing zijn voor de overproductie in de landbouw én het broeikas-effect. In deze bijdrage wordt het rendement van de energieproductie op de akker besproken. Het energetisch rendement van alcoholproductie ter vervanging van benzine is erg laag. De verbranding van biomassa levert wel netto energie op, maar kan pas een reëel alternatief genoemd worden, als er gewassen beschikbaar komen die weinig inputs vereisen en waarmee een zeer hoge biomassaproductie kan worden gerealiseerd. Het op grote schaal overgaan tot energieproductie met landbouwgewassen in Europa zal de bijdrage van fossiele brandstoffen aan het broeikas-effect nauwelijks verminderen.

INLEIDING

In de afgelopen decennia is telkenmale de teelt van landbouwgewassen voor energieproductie geopperd. In de jaren zeventig werd deze discussie vooral gevoerd vanwege de zorg over het feit dat vrijwel de gehele energievoorziening in de wereld gebaseerd was (en is) op fossiele energie, fondsenergie, die eindig is. Dit is niet het geval bij stroomenergie zoals zonne-energie, water-energie en wind-energie.

De hernieuwde belangstelling voor energiewinning door landbouwproductie is ten dele gebaseerd op dezelfde motieven als in de zeventiger jaren. Daar zijn de laatste jaren twee argumenten bij gekomen. Ten eerste de alarmerende berichten dat het gebruik van fossiele brandstoffen bijdraagt tot verhoging van de CO₂-concentratie in de lucht en daarmee bij-

draagt aan het gevreesde broeikas-effect en ten tweede de ontwikkelingen in de landbouw zelf. Als gevolg van de toenemende productiviteit in de landbouw, (meer productie per eenheid van oppervlak en per eenheid van dier) neemt het productievolume van de belangrijkste landbouwproducten nog steeds toe, terwijl de Europese markt reeds verzadigd is. Ter compensatie van deze productiviteitsstijging zal, als het productievolume gelijk moet blijven, vóór het jaar 2000 zo'n 20 miljoen ha cultuurland in Europa een andere bestemming moeten krijgen. Het telen van energiegewassen zou nieuwe afzetkanalen voor akkerbouwproducten kunnen openen.

Stikker [1] beschrijft de mogelijkheden van een in Zweden ontwikkeld systeem, waarbij tarwe (korrel+stro) wordt gebruikt voor energie-winning door verbranding van de biomassa in nieuw ontwikkelde cycloon-branders met een zeer hoog rendement en een lage milieubelasting. De berekeningen blijken echter zeer optimistisch. Zo stelt men dat een gewasproductie van 30 ton per hectare haalbaar is, terwijl de huidige productie in Zweden op 8 ton totale droge stof (dus korrels en stro) per hectare ligt en de potentiële productiemogelijkheden niet verder reiken dan 16-20 ton biomassa (droge stof) per hectare. Uit berekeningen blijkt dat het vervangen van de huidige brandstoffen van elektriciteitscentrales door biomassa zonder subsidies niet haalbaar is [1]. Inmiddels is de nadruk in het Zweedse systeem verschoven van energieproductie naar de verwerking van tarwe tot producten voor de voeder- en levensmiddelenindustrie en het aanwenden van biomassa als "groene" grondstof.

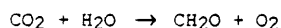
De productie van alcohol (brandstof) uit landbouwgewassen wordt ook regelmatig genoemd als een oplossing voor de overtollige cultuurgrond, waarbij zowel de boer als het milieu gebaat zouden zijn. Herhaaldelijk gepubliceerde rendementsberekeningen hebben duidelijk gemaakt dat het produceren van alcohol uit energetisch oogpunt zinloos is, omdat de hoeveelheid fossiele energie die nodig is voor de productie

van alcohol uit landbouwgewassen, vaak groter is dan de verbrandingswaarde van de geproduceerde alcohol [2,3]. Wijzigingen in de productie op de akker, maar vooral wijzigingen in de verwerking in de fabriek, zouden hier verandering in kunnen brengen. De hernieuwde belangstelling voor energieproductie op de akker is dan ook de reden om na te gaan of het energetisch rendement inmiddels door technologische vernieuwing veranderd zou kunnen zijn. Indien dit rendement positief is, is de volgende vraag in hoeverre het voor akkerbouwers rendabel is om dergelijke gewassen te telen. Weegt de opbrengst in geld uitgedrukt op tegen de kosten van teelt en verwerking (de toegerekende kosten)? Zo niet, dan let er nog meer subsidie gegeven worden aan de boer voor de teelt van energiegewassen dan voor het braak laten liggen van gronden. Verder is het uiteraard van belang de mogelijke rol van energiegewassen in de totale energievoorziening te kwantificeren, en daardoor enig zicht te krijgen op de verminderde bijdrage aan het broeikas-effect.

In dit artikel proberen wij deze vragen te beantwoorden op grond van berekeningen die gebaseerd zijn op de fysische, chemische en biologische kennis over de productie van landbouwgewassen. Vergelijkbare analyses zijn weergegeven in eerdere publikaties [2,4] en een NRLO studie [3]. De hier gepresenteerde gegevens zijn, voor zover nodig, geactualiseerd en gebaseerd op datgene wat nu technisch mogelijk is.

DE VASTLEGGING VAN ENERGIE DOOR GROENE PLANTEN: POTENTIELE PRODUCTIE

Groene planten hebben het vermogen om zonne-energie om te zetten in chemische energie door met behulp van het bladgroen (chlorofyl), water en koolzuurgas (CO_2) om te zetten in koolhydraten. Bij deze reactie komt zuurstof (O_2) vrij. De basisvergelijking van dit proces, dat we CO_2 -assimilatie of fotosynthese noemen, is:



Theoretisch zijn er 8 lichtquanta nodig om één molekuul CO_2 te reduceren tot CH_2O (de suikers worden hier voor het gemak weergegeven als CH_2O). Voor deze reactie zijn alleen lichtquanta met een golflengte tussen de 400 en 700 nm (het zichtbare deel van het licht) bruikbaar. Dus slechts de helft van de zonne-energie is bruikbaar in de fotosynthese. Het theoretisch rendement van de fotosynthese is zo'n 25% of $15 \mu\text{g CO}_2 \text{ J}^{-1}$ geabsorbeerd zichtbaar licht. Het werkelijke (gemeten) rendement is lager: zo'n $12 \mu\text{g CO}_2 \text{ J}^{-1}$. Bij een invallende zicht-

bare straling van $400 \text{ J (zichtbaar) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (een heldere dag in juni) zou er dus zo'n 170 kg CO_2 per hectare per uur kunnen worden vastgelegd. Helaas wordt het hoge rendement slechts bij zeer lage lichtintensiteiten gehaald. Bij hoge lichtintensiteiten is de opnamecapaciteit van CO_2 uit de lucht de beperkende factor, en wordt een veel lagere vastlegging van CO_2 gerealiseerd.

De efficiëntie van energievastlegging is echter niet voor alle planten hetzelfde. Er moeten hier twee groepen van planten worden onderscheiden, die een verschillende biochemische weg volgen bij de reductie van CO_2 : de C3 en de C4 planten. De meeste plantensoorten die in Nederland voorkomen zijn C3 planten (bv. de gewassen tarwe, bieten, aardappelen). C4 gewassen zijn over het algemeen gewassen die in warmere streken voorkomen zoals mais, sorghum en suikerriet. Omdat er in C4 planten geen verliezen door fotorespiratie optreden, zijn C4 planten efficiënter, en is de netto fotosynthese bij deze planten hoger dan bij C3 planten bij hoge lichtintensiteiten. Deze efficiëntere biochemische weg werkt echter alleen optimaal bij hoge temperaturen. In werkelijkheid zal een blad niet meer dan 40 (C3) tot 100 (C4 bij hoge temperatuur) kg $\text{CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ kunnen vastleggen bij hoge lichtniveaus.

Een gewas is echter geen aaneengesloten groene deken van bladeren, maar bestaat uit veel kleine bladeren met verschillende bladstanden (hoek met het grondoppervlak). Het totale bladoppervlak is voor een gesloten gewas 4-6 maal zo groot als het bedekte grondoppervlak. Door de geometrie van het gewas wordt het licht efficiënt verdeeld over de bladeren, waardoor bladeren onderin het gewas nog een bijdrage kunnen leveren aan de fotosynthese. Hierdoor is de fotosynthese van een gesloten gewas met bladeren met diverse bladstanden hoger dan van een horizontaal bladerdek.

Voor een gesloten gewas geldt dat er gemiddeld over het groeiseizoen in Nederland zo'n 340 kg $\text{CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ wordt geproduceerd. De suikers die tijdens de fotosynthese worden gevormd, worden niet als zodanig opgeslagen, maar gebruikt voor de vorming van structurele verbindingen waaruit plantenweefsels bestaan. Deze omzettingen kosten energie en er vallen snippers bij de synthese van de vaak ingewikkelde verbindingen. Daarnaast is er energie nodig voor het instand houden van het bestaande materiaal (de onderhoudsademhaling). De verliezen bedragen gezamenlijk ruwweg 40%. De netto productie van plantenmateriaal (droge stof) is dus ongeveer $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Met praktijkproeven die gedurende de laatste decennia werden uitgevoerd, is aangetoond dat de groeisnelheid van landbouwgewassen in Nederland onder

optimale omstandigheden gemiddeld over het groeiseizoen inderdaad 200 kg droge stof ha⁻¹ d⁻¹ bedraagt als de productie omstandigheden optimaal zijn.

De verbrandingswaarde van de droge stof is ongeveer 20 MJ kg⁻¹, waardoor het rendement van de energetische vastlegging 6% van het zichtbare licht bedraagt (De gemiddelde dagelijkse instraling van zichtbaar licht in het groeiseizoen is 7 MJ m⁻² d⁻¹). Omdat slechts de helft van de totale invallende straling fotosynthetisch actief is, is het rendement dus in totaal slechts 3%. Op jaarbasis is dat natuurlijk veel lager, omdat gewassen vaak maar een beperkt deel van het jaar een gesloten groen gewasdek hebben. De totale biomassa die kan worden vastgelegd, is dan ook het resultaat van de integratie van de groeisnelheid per dag gedurende de groeiperiode.

Deze groeisnelheid van circa 200 kg ha⁻¹ d⁻¹ geldt voor Nederlandse omstandigheden. De berekende groeisnelheid blijkt te kunnen variëren tussen 150-350 kg droge stof ha⁻¹ d⁻¹. In de praktijk worden deze potentiële waarden ook gemeten. Een meer algemene rekenmethode voor de potentiële productie is de lineaire relatie tussen de geabsorbeerde straling en de productie van droge stof door gesloten gewasoppervlakken. Voor de meeste C3 gewassen (zelfs voor houtige soorten als wilgen en populieren) geldt dat er 1.5 g droge stof MJ⁻¹ geabsorbeerde totale straling wordt vastgelegd. Het energetisch rendement van 3% is dus een vrij algemeen maximaal rendement voor landbouwgewassen (1.5*20*0.001). Het merendeel van de door gewassen geabsorbeerde energie (97%) wordt dus niet vastgelegd als chemische energie, maar verdwijnt door verdamping, verwarming of wordt in de vorm van langgolvlige (warmte) straling weer uitgezonden. Berekeningen over de energiebalans van gewassen bevestigen dat verdamping een veel energievragend proces is dat de levende plant vanwege haar open relatie (huidmondjes) met de omgeving niet kan vermijden.

Omgevingseffecten

Bij de plantaardige productie van droge stof wordt CO₂ opgenomen en komt zuurstof vrij. Wordt het gewas verbrand, dan gebeurt het omgekeerde. Netto is er na verbranding dus geen sprake van CO₂ productie. Dit in tegenstelling tot de verbranding van fossiele brandstoffen, waarbij in feite de CO₂ vrijkomt die in een verleden door groene planten vastgelegd is. Omdat deze fossiele brandstoffen in een geologisch gezien extreem korte tijdspanne worden opgestookt, treedt er een substantiële stijging van de CO₂ concentratie op. Gedurende de

laatste 100 jaar is zo de CO₂-concentratie in de lucht gestegen van 280 ppm tot 350 ppm.

Actuele productie

Deze groeisnelheden gelden echter slechts voor potentiële productieomstandigheden, waarbij het gewas vrij is van ziekten en plagen en voldoende voorzien is van water en nutriënten. Deze situatie doet zich echter zelden voor. Rabbinge [5] schatte het deel van de landbouwgrond op wereldschaal waarop potentiële producties worden gehaald op minder dan 1%. In veel gebieden is tekort aan water een belangrijke oorzaak, maar vooral de nutriëntenvoorziening is in veel landbouwgebieden er de oorzaak van dat productieniveaus van nog geen 10% van de potentiële productie worden gehaald.

Onder Nederlandse omstandigheden kunnen gewassen, als alle groeifactoren optimaal zijn, van begin mei tot eind september groeien met de bovengenoemde snelheden. In de rest van het jaar is de straling erg laag, de temperatuur te laag en zijn de dagen te kort om groeisnelheden van 200 kg ha⁻¹ d⁻¹ te halen. Gewassen die zo lang mogelijk groen zijn, kunnen het groeiseizoen dus optimaal benutten. Bij een groeiseizoen van 150 dagen kan er dan 30 ton droge stof worden geproduceerd. Zo kunnen 100 ton aardappelen per ha (20 ton droge stof) worden geproduceerd, terwijl er met fabrieksaardappelen in de praktijk zo'n 40 ton wordt geoogst. Met tarwe zijn opbrengsten hoger dan 20 ton totale droge stof niet mogelijk omdat het gewas vroeg afrijpt, en dus geen zonne-energie meer vast kan leggen. Een productie van 30 ton tarwe (inclusief stro) in Zweden is dan ook met de huidige stand der techniek en de huidige rassen onmogelijk.

De potentiële productie van C4 gewassen is hoger, maar het temperatuuroptimum ligt aanmerkelijk hoger dan bij C3-gewassen. Een C4-gewas zoals suikerriet kan groeisnelheden halen van 400 kg droge stof ha⁻¹ d⁻¹. Daarbij komt dat een dergelijk gewas het gehele jaar een groen gesloten gewasdek heeft, waardoor jaarproducties van 120 ton droge stof mogelijk zijn. Het energetisch rendement op jaarbasis kan dan zo'n 5% bedragen. In de huidige teelten van suikerriet liggen de producties echter veel lager (12 ton ds ha⁻¹ jaar⁻¹) door watertekorten, suboptimale nutriëntenvoorziening, ziekten en plagen.

HET ENERGETISCH RENDEMENT VAN DE LANDBOUW-PRODUCTIE

Energiebalans berekeningen werden in het verleden uitgevoerd teneinde een oordeel over het

nut van de energieproductie door de teelt van landbouwgewassen mogelijk te maken. Een negatieve energiebalans voor productie en verwerking zouden de productie van energie op de akker tot een ingewikkelde en dure vorm van arbeidssubsidie maken. Het nut van energetische balansen is afhankelijk van het soort product. Als het bijvoorbeeld gaat om energieproductie uit afval producten, zoals mest en stro, houtafval en andere bijproducten is het onjuist om de energiekosten voor de productie van het product te vergelijken met de energetische opbrengst. De energiebalans geeft ook geen bruikbare informatie als het gaat om de productie van alcohol voor menselijke consumptie, maar wel als het gaat om alcoholproductie ter vervanging van benzine. Dan is het verschil tussen de in de vorm van alcohol vastgelegde energie en de verbruikte energie in vergelijkbare vorm (LPG, benzine, alcohol) van belang, omdat de vormen van energie dezelfde gebruikswaarde hebben. Als er een veredelde vorm van energie zoals electriciteit wordt geproduceerd, dan moet de energie opbrengst aan warmte bij verbranding worden vergeleken met de inputs, omdat het rendement van electriciteitsproductie ook voor andere energiedragers slechts 35-40% is.

Op diverse manieren kan de door gewassen vastgelegde energie worden omgezet in andere bruikbare energiedragers: vergisting tot alcohol of biogas, verbranding voor de productie van warm water, stoom en electriciteit. Uiteraard zijn slechts 'droge' producten geschikt voor verbranding (zoals hout, riet, tarwe) en de meer natte producten het meest geschikt voor vergisting (aardappelen, suikerbieten).

Uitvoerige berekeningen aan allerlei vormen van energieproductie met een heel scala aan gewassen zijn beschreven door de NRLO in 1982 [3]. Twee goed gedocumenteerde voorbeelden betreffen: (1) alcoholproductie ter vervanging van benzine en (2) electriciteitsproductie met behulp van gewassen. Drie aspecten zijn van belang: ten eerste de energiebalans (relatie

energie inputs/outputs), ten tweede de economische haalbaarheid en ten derde de mogelijke kwantitatieve bijdrage aan de energievoorziening.

alcohol uit gewassen ter vervanging van benzine

De productiemogelijkheden van alcohol met behulp van aardappelen en tarwe wordt weergegeven in Tabel 1. In Nederland is de productie van fabrieksaardappelen ongeveer 40 ton verse knollen per ha. Dat is 9-10 ton ds ha⁻¹ j⁻¹, wat bij een gemiddeld zetmeelgehalte van 17% een zetmeel opbrengst van 6800 kg ha⁻¹ j⁻¹ betekent. Dit kan 3604 kg ethanol opleveren met een verbrandingswaarde van 97 GJ. Uit tarwe kan 1907 kg ethanol per ha worden geproduceerd als we uitgaan van een tarweopbrengst van 5,9 ton (korrels met 16% vocht) per ha. Dit is gelijk aan 51 GJ per ha. Hoewel dit een aanzienlijke hoeveelheid energie is, betekent het dat er een halve hectare aardappelen of een hele hectare tarwe nodig is om een auto een jaar lang te kunnen laten rijden op alcohol. Er rijden momenteel ongeveer 6 miljoen auto's in Nederland rond die jaarlijks gemiddeld 20.000 km afleggen. Als we uitgaan van gasohol productie (benzine met 10% alcohol) is er 300.000 ha aardappels of 600.000 ha tarwe nodig als we volledig op gasohol overgaan, terwijl het gehele Nederlandse akkerbouwareaal ongeveer 650.000 ha beslaat. Gegeven de omvang van het benodigde oppervlak om een substantiële bijdrage te leveren aan de brandstof van auto's lijkt de bijdrage voor Nederland weinig te betekenen. Terugdringing van de milieuvervuiling (NO_x, CO₂) door alcoholproductie op de akker lijkt dus weinig perspectief te bieden. Technische innovaties op het terrein van de energetische efficiëntie van motoren lijken meer perspectief te bieden. Afgezien van deze geringe bijdrage is het vanzelfsprekend nog belangrijker de energiebalans te berekenen.

Tabel 1. Aardappelen en tarwe voor alcoholproductie.

	<u>aardappelen</u>	<u>tarwe</u>	
opbrengst gewas			
-ton product/ha :	40	5,9	
-kg zetmeel	6800	3599	(0,53 kg ethanol/kg zetmeel)
-kg ethanol	3604	1907	(27 GJ/ton ethanol)
-energieproductie (GJ/ha)	97	51	(31,4 MJ/liter benzine)
-equivalent aan benzine (liters)	3089	1624	(auto rijdt +/- 1 op 14)
-km autorijden (per ha gewas per jaar)	43000	23000	

Het energieverbruik op de akker valt uiteen in directe energie (trekkerolie, electriciteit ed.) en indirecte energie voor de productie van machines, kunstmest en bestrijdingsmiddelen. Lange [6] berekende een energie input van 50 GJ ha⁻¹ jaar⁻¹. Het LEI [7] berekende dat de energie input op akkerbouwbedrijven varieerde van 25-100 GJ per ha marktbaar gewas. Gemiddeld lag het verbruik tussen de 40 en de 50 GJ per ha. In het NRLO rapport [3] wordt het energieverbruik voor een ha aardappels geschat op 34 GJ ha⁻¹ en voor tarwe op 22 GJ ha⁻¹. In de hier gepresenteerde berekeningen wordt met de NRLO gegevens gewerkt.

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de energie balans voor de productie van ethanol uit aardappelen en tarwe. Uit deze berekening blijkt dat de opbrengst van 1 ha aardappelen aan energie in de vorm van alcohol slechts voldoende is voor de teelt en verwerking van 0.6 ha. De energetische opbrengst is dus sterk negatief. Dat komt vooral door de energiekosten voor de omzetting van zetmeel in alcohol in de fabriek. Voor tarwe is het energetisch rendement precies 1 als het stro gebruikt wordt als energiebron voor alcoholproductie in de fabriek. Dat wil zeggen dat er evenveel energie wordt verbruikt als geproduceerd. Pas als er rekening wordt gehouden met de energetische waarde van het veevoer dat wordt geproduceerd wordt de balans voor tarwe positief. Omdat het bij de productie van alcohol om energie gaat die een vergelijkbare gebruikswaarde heeft als de energievormen die gebruikt worden als input, moet worden gesteld dat de productie van alcohol uit fabrieksaardappelen een zinloze activiteit is.

Als in bovengenoemde berekeningen de kosten voor afvalverwerking worden vervangen door energie opbrengsten door vergisting van het afval en de verbranding daarvan, wordt het rendement beter. Ook nieuwe verwerkingstechnieken in de fabriek zouden de productie van alcohol uit zetmeel efficiënter kunnen laten verlopen. Nieuwe ontwikkelingen die echt perspectieven bieden zijn echter niet op korte termijn te verwachten (J. Tramper, persoonlijke med.) Over het algemeen kan worden gesteld dat de productie van alcohol uit landbouwgewassen in Nederland energetisch gezien niet rendabel is. Alleen indien zowel op de akker als in de fabriek een grote inspanning wordt gepleegd om tot energiebesparing te komen zou er mogelijk enig perspectief zijn.

Afgezien van de energetische aspecten is de alcoholverbouw voor de boer niet interessant, omdat de prijs van de geproduceerde energie veel hoger is dan de prijs van benzine inclusief belasting: afhankelijk van het gewas bedragen de productiekosten f2,60 tot f3,80 per

Tabel 2. Energiebalans van alcoholproductie met aardappelen en tarwe.

	GJ/ton alcohol	
	aardappelen	tarwe
opbrengst gewas (ton product/ha) :	40	5.9
energiekosten:		
-teelt, transport en opslag	9	10
-proces energie in de fabriek	29	29
-afvalverwerking	8	23
totaal	46	62
energieproductie		
-verbrandingswarmte alcohol	27	27
netto energieopbrengst		
-zonder benutting van stro	-19	-36
-bij benutting stro voor proces-energie in fabriek		1
verhouding inputs/outputs	0.6	0.4-1.0

hoeveelheid alcohol equivalent aan één liter benzine, afhankelijk van het gewas [3].

Natuurlijk rijst de vraag waarom de productie van alcohol als brandstof voor auto's in landen als Brazilië blijkbaar wel rendabel kan zijn. Dit aspect is besproken door Rabbinge [2], die konkludeerde dat enerzijds de sociale structuur (veel goedkope energie inputs in de vorm van arbeid, waardoor er weinig fossiele energie verbruikt wordt) en anderzijds de hoge productie van suikerriet (C4 gewas, lang groeiseizoen) hieraan ten grondslag liggen.

landbouwgewassen voor electriciteitsproductie

Een andere veelbesproken mogelijkheid voor de productie van energie met landbouwgewassen, is de productie van electriciteit door de verbranding van biomassa in de krachtcentrale. Zoals in het begin van dit artikel is besproken, is een productie van 15 ton droge stof zeker haalbaar met diverse gewassoorten (inclusief wilgen, populieren e.d.). Via verbranding kan de vastgelegde zonne-energie worden veredeld tot electriciteit. Bij voorkeur moet het product zo droog mogelijk zijn en zo weinig mogelijk mineralen als stikstof en zwavel bevatten om luchtverontreiniging bij de verbranding te voorkomen en om de inputs zo laag mogelijk te houden. Hout en vooral riet zijn daarom meer geschikt dan bijvoorbeeld tarwe. Een rendementsberekening voor een gewas dat 15 ton droge stof per ha per jaar produceert is weergegeven in tabel 3. Bij omzetting van de 15 ton droge stof kan er jaarlijks 28.000 kWh per

Tabel 3. Mogelijkheden voor het gebruik van gewassen voor electriciteitsproductie. Bij tarwe is uitgegaan van de totale bovengrondse biomassa.

opbrengst gewas (ton droge stof/ha)	15,0	(19 MJ/kg droge stof)
verbrandingswarmte (GJ/ha/jaar)	285,0	
verbrandingswarmte (MJ/ha/h)	32,5	(1 kwh heeft een energie-inhoud van 3.6 MJ) (omzettings efficiëntie warmte-electriciteit: 35%)
electrisch vermogen per ha (kW) ((32,5/3,6)*0,35)	3,2	
jaarproductie electriciteit (MWh/ha)	28	(brandstofkosten centrale 5,2 cent/kwh (1988))
jaaropbrengst (gld/ha)	1456	

Voor een middelgrote centrale van 0,5 GW is dus $500 \times 1000 / 3,2 =$ ruim 150.000 ha landbouwgrond nodig. De electriciteitsproductie in Nederland is ongeveer 55 TWh. Om deze energie volledig met gewassen te leveren is $55 \times 10^9 \text{ kWh} / (28.000 \text{ kWh/ha/jaar}) =$ ongeveer 2 miljoen ha nodig, bij een potentiële opbrengst.

ha worden geproduceerd. Dat betekent dat een middelgrote centrale van 500 MW voor de brandstofvoorziening een areaal van 150.000 ha nodig heeft, waarop gewassen onder potentiële omstandigheden worden verbouwd, dus optimaal voorzien met nutriënten en water en vrij van ziekten en plagen. De bestrijding van onkruiden is uiteraard niet van belang. Het gaat hier dus om een gebied met goede grond zo groot als de IJsselmeerpolders. Het huidige akkerbouwareaal zou slechts voldoende zijn voor minder dan de helft van onze electriciteitsvoorziening.

Het energetisch rendement is in dit geval positief: er wordt hier daadwerkelijk gebruik gemaakt van stroomenergie. Hierbij wordt uitgegaan van de energie-opbrengst bij de productie van warmte. De verhouding tussen energie-input en output ligt dan tussen de 6 en de 10 (NRLO, 1982). De netto energieproductie ligt dan rond de $200 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$.

Economisch gezien is het voor een akkerbouwer echter totaal geen interessant alternatief. De brandstofkosten voor electriciteitsproductie zijn zo laag (5,2 cent per kWh, [8]), dat de bruto opbrengst nog geen 1500 gulden per ha bedraagt (Tabel 3). Het is voor een akkerbouwer voordeliger de grond braak te laten liggen, dan er energie te produceren met tarwe of hout. Een oplossing voor de huidige problemen in de akkerbouw, die samenhangen met de lage graanprijzen (bij 15 ton droge stof 8,8 ton tarwe korrels dus 3500-4000 gulden per hectare) kan hier niet worden verwacht. De huidige tarweprijzen zijn nog meer dan twee maal zo hoog als de prijzen die de electriciteitsbedrijven zouden willen betalen.

Vermindering broeikas-effect

De productie van energie met landbouwgewassen levert geen bijdrage aan het zg. broeikas-effect, omdat de hoeveelheid CO_2 die vrijkomt bij de verbranding gelijk is aan de netto CO_2 vastlegging door het gewas tijdens de groei. Door

Boeringa [9] is de mogelijke bijdrage van energiegewassen aan een vermindering van het broeikas-effect gekwantificeerd. Deze berekeningen laten zien dat de vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen in de EG slechts zo'n 5% zal bedragen, als er in de EG op 10 miljoen ha onder optimale omstandigheden energiegewassen worden verbouwd.

CONCLUSIE

Uit de voorgaande berekeningen blijkt duidelijk dat de productie van alcohol uit landbouwgewassen geen perspectieven biedt voor de akkerbouw en de energievoorziening. Voor de productie van electriciteit zijn de mogelijkheden ook niet echt interessant voor de boer bij de huidige brandstofprijzen, hoewel er in dit geval wel sprake is van het gebruik van een netto vastlegging van zonne-energie.

Voor kleinschalige energieproductie uit afvalproducten zoals saro, houtwallen e.d. zijn er waarschijnlijk wel perspectieven, als dit op de bedrijven zelf gebeurt.

Het minst onaantrekkelijk voor grootschalige toepassing lijkt de productie van electriciteit met behulp van riet. Ten eerste wordt er een veredelde vorm van energie geproduceerd (vergeleken met de inputs: fossiele brandstoffen leveren ook hier slechts een rendement van 40% en is er een netto productie van bruikbare zonne-energie). Verder is het een droog product, treedt er relatief weinig milieuvervuiling op bij de verbranding, omdat het gewas de nutriënten uit de bovengrondse biomassa in het najaar opslaat in de ondergrondse delen en worden er weinig nutriënten verspild. Daarnaast zijn veel handelingen met werktuigen overbodig zoals ploegen, zaaien of poten etc.

Echte perspectieven zijn echter alleen te verwachten van gewassen met C4 eigenschappen die meer droge stof kunnen produceren, in combinatie met de genoemde voordelen van riet. Voor Nederlandse omstandigheden moet zo'n gewas

dan bij de lage temperaturen in het voorjaar snel een gesloten gewas kunnen vormen en hoge fotosynthese snelheden kunnen bereiken bij lagere temperaturen. Er zijn aanwijzingen dat tropische C4-grassen met een bamboe-achtige structuur, die worden aangetroffen aan de rand van het Himalaya gebergte in China, voldoen aan deze voorwaarden. Experimenten zijn op dit moment gaande. Als er met een dergelijk gewas opbrengsten van 40 ton droge stof per ha haalbaar zijn, wordt het interessant. Bij de huidige brandstofkosten van de elektriciteitscentrales van 5-6 gulden per GJ kan dan een opbrengst van f4.000,- tot f4.800,- worden verkregen. Pas als een dergelijke doorbraak wordt gerealiseerd zal de verbouw van energiegewassen een bijdrage kunnen leveren aan een oplossing voor de huidige problemen in de akkerbouw.

LITERATUUR

1. Stikker, A. (1988). De prijs van een wonder. Naar andere modellen voor onze toekomst. Bres, Amsterdam, 132 pp.
2. Rabbinge, R. (1982). Energiewinning door landbouwproductie. Landbouwkundig tijdschrift 94, pp 25-30.
3. Anoniem (1982) Energiegewassen in Nederland. Nationale Raad voor het Landbouwkundig Onderzoek TNO, Den Haag, studierapport 13, 102 pp.
4. Wit, C.T. de (1981). Oude wijn in nieuwe zakken. Landbouwkundig tijdschrift 93 pp 257-262.
5. Rabbinge, R. (1986). The bridge function of crop ecology. Netherlands Journal of Agricultural Science 3 pp 239-251.
6. Lange, J.M. (1975). De energiehuishouding in de Nederlandse landbouw. Publ. nr. 12. IMAG, Wageningen
7. Anoniem (1983). Van bedrijfsuitkomsten tot financiële positie. LEI publ. nr. 3.128.
8. Anoniem (1988). Electriciteit in Nederland. Publicatie van SEP, GKN, KEMA, VEEN, VDEN, Arnhem.
9. Boeringa, R. Notitie over de bijdrage van energiegewassen aan de vermindering van het broeikas-effect. NRLO-notitie 88/W29.

Handwritten text, possibly a page number or date, located near the top center of the page.

Handwritten text, possibly a page number or date, located near the top center of the page.